

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ФІЗИКИ

Холоімов Валерій Вячеславович

ЗВІТ
з лабораторної роботи №3

«ВИВЧЕННЯ ІЗОТОПІЧНОГО ЗСУВУ В СПЕКТРІ АТОМАРНОГО ВОДНЮ

практикум "Атомна фізика" 3 курс

Викладач практикуму
Н.В. Башмакова

Київ 2021

1 Опис методу

1.1 Стала Рідберга

Без урахування спин-орбітальної взаємодії, спектр енергій електрона в атомі водню можна описати, як відомо, виразом:

$$W_n = -\frac{Rhc}{n^2}, Rhc = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} = R_y$$

h - стала Планка, ϵ_0 - електрична стала, $m = m_e$ (m_e - маса електрона) в тому випадку, якщо маса ядра M нескінченно велика, і при русі електрона ядро нерухоме.

В реальності ж не можемо вважати ядро нерухомим, а повинні вважати, за теорією Бора, що ядро та (орбітальний) електрон обертається навколо спільного центра мас. Ця система (ядро + електрон) характеризується наведеною масою:

$$\mu = \frac{mM}{m+M} = m \frac{1}{1 + \frac{m}{M}}$$

Використаємо в формулі для сталої Рідберга наведеною масою:

$$R = \frac{\mu e^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c} = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c} \cdot \frac{1}{1 + \frac{m}{M}}$$

при $M \rightarrow \infty$:

$$R \rightarrow \frac{\mu e^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c} = R_\infty$$

$$R = \frac{R_\infty}{1 + \frac{m}{M}}$$

Ізотопічний зсув:

$$\Delta\nu_n = \nu_n^D - \nu_n^H \approx \frac{m_e}{2M} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) R_\infty$$

2 Теоретичні розрахунки

2.1 Червона лінія мерії Бальмера

Для червоної лінії з формули:

$$\nu_{m,n} = R(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2})$$

$$\lambda = 656,1nm; n = 3$$

Відповідно зсув для червоної лінії:

$$\Delta\nu = \frac{m_e}{2M}(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2})R_\infty$$

$$\Delta\nu = 416\frac{1}{m}$$

2.2 Синя лінія мерії Бальмера

Для червоної лінії з формули:

$$\nu_{m,n} = R(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2})$$

$$\lambda = 433,9nm; n = 5$$

Відповідно зсув для червоної лінії:

$$\Delta\nu = \frac{m_e}{2M}(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{6^2})R_\infty$$

$$\Delta\nu = 629,1\frac{1}{m}$$

2.3 Бірюзова лінія мерії Бальмера

Для бірюзової лінії з формули:

$$\nu_{m,n} = R(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2})$$

$$\lambda = 486,0nm; n = 4$$

Відповідно зсув для червоної лінії:

$$\Delta\nu = \frac{m_e}{2M}(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2})R_\infty$$

$$\Delta\nu = 561\frac{1}{m}$$

3 Експериментально отримані дані:

Бірюзова лінія: $\lambda = 486,08$

Синя лінія: $\lambda = 440,01$

Червона лінія: $\lambda =$

4 Теоретичні питання

4.1 Залежність енергії атома від маси ядра. Фізичний зміст сталих Рідберга R і R_∞ .

$$W_n = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c} \cdot \frac{1}{1 + \frac{m}{M}}$$

Фізичний зміст сталої Рідберга - найбільше квантове число хвильового числа фотону, який може бути випромінений атомом водню. У той самий час - найменше можливе число фотону, яке необхідне для іонізації атома водню. Має розмірність $1/\text{м}$.

4.2 З яких елементарних частинок складаються ядра атомів протію, дейтерію і тритію? Як співвідносяться маси ядер таких атомів? Як співвідносяться сталі Рідберга для таких атомів?

Протій: 1 протон

Дейтерій: 1 протон, 1 нейтрон

Тритій: 1 протон, 2 нейтрони

Так як маємо залежність виду $R \approx \frac{1}{1 + \frac{m}{M}}$, то зростання маси ядра призведе до збільшення сталої Рідберга.

4.3 У якому порядку за шкалою довжин хвиль λ будуть розташовуватися лінії випромінювання протію, дейтерію і тритію?

Збільшення маси ядра призводить до зміщення спектру в короткохвильовому напрямку.

4.4 Що називається ізотопічним зсувом? Для якої серії він буде максимальним? Для якої лінії цієї серії?

Ізотопічний зсув: зсув між спектральними лініями дейтерію і протію. Має назви ізотопічний, оскільки протій та дейтерій є ізотопами одного й того ж хімічного елементу: водню. Максимальним зсув буде для серії Лаймана. Для лінії, що відповідає переходу зі стану $n = 11$ в $n = 1$.

4.5 Розрахувати теоретично ізотопічний зсув для воднево-дейтерієвої суміші і порівняти його з експериментальним.

Було виконано в ході лабораторної роботи.

4.5.1 У скільки разів будуть відрізнятися від довжини хвилі лінії H_β для протію відповідні довжини хвиль випромінювання атома позитронію ($M = m_{ee}$) та мезоатома ($M = m_p, m_\mu = 207 m_e$)? Що це за «атоми»?

Позитроній - система, що складається з позитивно і негативно зарядженою частинки. Маса та заряди за модулем цих частинок рівні.

$$\frac{\lambda_H}{\lambda_p} = \frac{\frac{1}{1+\frac{m}{M}}}{\frac{1}{1+\frac{m}{M}}}$$

$$\frac{\lambda_H}{\lambda_p} = \frac{\frac{1}{2M}}{\frac{1}{m+M}} = \frac{M+m}{2M} \approx \frac{1}{2}$$

Мезоатом - система, що утворена протоном і мюоном.

$$\frac{\lambda_H}{\lambda_\mu} = \frac{M+m}{M+207m}$$

$$M \approx 2000m$$

$$\frac{\lambda_H}{\lambda_\mu} = \frac{2001}{2208} \approx 0,9$$

4.5.2 Кутова, лінійна, та обернена лінійна дисперсія спектрального приладу. Як її можна визначити в даній роботі?